PB-237 781-T

FORESTRY MEASURES AGAINST IMMISSIONS

K. F. Wentzel

Environmental Protection Agency
Research Triangle Park, North Carolina

1974

DISTRIBUTED BY:

NTIS

National Technical Information Service
U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE

PB 237 781

APTIC-48622

EPA-TR 12-73

Wentzel, K. F.

FORESTRY MEASURES AGAINST IMMISSIONS

[Waldbauliche Massnahmen gegen Immissionen]

Reprint, Allgemeine Forstzeitschrift, Vol. 18, 1963, pp. 101-106.

Reproduced by
NATIONAL TECHNICAL
INFORMATION SERVICE
U.S. Department of Commerce
Springfield VA 22151

Translated for APTIC by
Translation Consultants, Ltd., Arlington, Virginia

Wentzel, K. F.

FORESTRY MEASURES AGAINST IMMISSIONS

Possibilities and Limitations of Forest Protection Against Smoke Damage

The forestry measures for reducing damage caused by immissions which have proved successful in the field have been compiled below and provided with a brief comment for practical application in forestry. For this purpose, the author draws on eight years of professional work in research, supervision and as consultant, and his knowledge of the experience gathered in the widest variety of smoke-damaged areas in Europe.

The forester does not possess any active means for preventing smoke damage. Because the forest is the object of damage, forestry cannot eliminate the cause of damage by itself. This possibility exists only through technological measures and precautions in the sources of immission. Damage can be prevented with certainty only by separating toxic components of pollution before they leave the factories and by making them ineffective at this time.

While the forester is unable to eliminate any influence on his forest by smoke or dust with any certainty, his impotent position towards air pollution becomes even clearer if we remember that he also has no therapeutic means at his disposal (apart from fertilizing in special cases) with which he could help the smoke-damaged and diseased forests. While the fields of human and veterinary medicine have developed

antidotes, remedies, palliatives and stimulants, which, when administered or injected in time may eliminate the terror of many a disease, we do not know any means for healing plants which suffered smoke damage. At best, we can shield plant life from immissions externally, just as from attacks by fungi and parasites. The term "plant protection" refers to these conditions. There can be no "plant doctors" as long as there are no methods on a wide basis with which "internal diseases" of plants can be healed such as those caused, for example, by air pollution.

It is still an open question on whether it will ever be possible to develop any such remedies. Preliminary tests have been started, and the concept as such does not appear to be utopian. But at present our actions from the perspective of Applied Botany are limited in the combat of air pollution to merely one approach, namely to adjust our measures in forest management and operation to the effects of smoke damage, and to accept them as a fact. Thus, the measures of protection against pollution open to forestry are almost exclusively of a prophylactic nature. Their only objective is to prevent major destructions of a forest's structure and character and to maintain at first a certain capacity of yield and finally any growth at all in the vicinity of industries, and to preserve as far as possible the cultural and hygienic functions of the forest for mankind and nature.

The Principles of the Study of Smoke Damage in Natural Science

Today, we know some 200 different foreign substances of industrial origin in the atmosphere. About 50 of them occur more frequently, but only a dozen of them are of special concern and interest to us. The

pollutants which cause the most wide-spread and by far greatest smoke damage in forests are sulfur dioxide and hydrogen fluoride gases. In the majority of cases, these are the two pollutants to be dealt with.

The countermeasures and means available to us in forest management are based on three hypotheses of the natural sciences as applied in the study of smoke damage:

1. The tree species, and beyond this the individual specimen of one species, have different resistances to harmful immissions. There are no absolutely smoke-resistant trees or plants.

2. Dangerous clouds of smoke dilute the faster into harmless distributions of pollutants in the atmosphere, the more they pass through obstacles and barriers on their path, or the more obstacles they have to by-pass.

3. The more favorable the general conditions of growth are, for a plant, among them especially the soil, the more resistant will this plant be to attacks by toxic smoke concentrations.

The validity of these principles has been confirmed many times, both by experiments and empirical methods. A wealth of substantiating material is found in the large amount of experience gathered in many decades of forest activities in areas of chronic smoke damage. Because it is almost impossible from the point of view of experimental technology to extend the experiments of exposure to gas to the entire natural treelife, and because it is possible to test individual small young plants in the laboratory but not tall and complex forests, the "experiment

in nature" of the growth and maturing processes of plants with long life-spans and forest stands in the open field, which are affected by smoke and pollution, become an unrivaled, powerful source of evidence for the conclusions which have to be drawn on their basis by forestry, land conservation and landscape engineering in areas with smoke damage.

Transition to Smoke-Hardened Plants

The most common measure in the practice of combating smoke damage and the almost unavoidable measure of forest adjustment on large areas in the vicinity of industries with which the forest can be adapted to the dangerous effects of immissions is the change to planting different tree species. Instead of sensitive trees, species and types of trees can be planted in areas of high air pollution which are relatively resistant to smoke. On a larger scale, such transformations of forests have occurred in the past primarily in the industrialized nations of Central Europe, in Germany, Czechoslovakia, Poland and Austria. It is characteristic that these are countries in which there is a well-planned forestry policy and a large share of coniferous tree cultures in addition to a high degree of industrialization. Suitable examples of older areas of transformation, where trees are already mature and timber ready for felling, are found in Saxony and the Ruhr district. The forestry offices of Lauter [1] and Saard [2] have acted as pioneers in this area. In the course of the general reconstruction of forestry after 1945 and the replanting of numerous stands which had been destroyed or neglected during the war, the reforestation of forests under the stress of pollution has been generally fostered quite strongly during the last decade.

Therefore, the known areas with smoke damage currently contain many areas of young stands which offer a wide variety of material for testing and observation.

The type and extent of reforestation have to be determined locally according to the degree of active pollution. In this endeavor, it is necessary to consider not only the current level of damage but also - as far as possible - its expected development in the future, because the selection of tree species determines forestry for an average of 80 to 100 years. It is useless to plant cultures of sensitive tree species if the area will be exposed to massive industrialization within the foreseeable future.

In the case of smoke effect which damages deciduous trees only slightly and where conifers merely show a reduced additional growth and reduced cycles of cultivation, the primary consideration is to maintain a limited productive capacity of the forest. There is no reason to relinquish spruce or pine cultures or a mixture of conifers completely if it can be expected that the smoke will still permit a timber cycle of these conifers. As the influence of smoke grows, it becomes increasingly more important to use more smoke-resistant conifers (Austrian pine [Pinus austriaca], Thujas, larches) and, finally, to switch completely to the planting of deciduous trees. But if the damage is reflected in an early thinning and destruction of the forest structure (only during extended high action of smoke immissions), the decisive consideration in the selection of tree species becomes the maintenance of a ground covering or any coverage with green cultures at all. In these

cases, the only type of tree to be selected for cultivation is deciduous trees which are adapted as much as possible to the site of cultivation and are as hardy in cultivation as possible. It must be prevented that barren areas develop due to smoke damage and that they subsequently lead to erosion of the soil and the development of wasteland.

Figure 1. Approximately 40-year-old pine culture in the forest of Hubnerheide (Forestry District Wesel). Only trees which had died from dryness caused by smoke have been felled. Because the culture has been considerably reduced in number and will be barren in a few years, beech tree planting has been started.

A comparison of Figures 1 and 2 illustrates the development of the "smoke characteristics" in pines between the ages of 40 to 70.

According to the present state of our knowledge, we must warn against using the so-called "sequences of resistance" which have been established in years past as principal guiding factors in selecting tree species in

the vicinity of industries. In reality, this practice has repeatedly led to major errors in choice. The old sequences of resistance have led to the opinion, which is still existing today and which is only partially correct according to my findings, i.e., that there are major differences in resistance to smoke in general between various tree species and that one need only select one species as far "up front" in the series of trees which are "smoke hardened" by nature in order to assure that the choice was correct.

However, resistance to smoke must not be seen as an inherent property of one tree species which is isolated from the location of these trees. The sequences of resistance are valid only for quite specific local and test conditions. The "iron rule of locality" holds true even with regard to smoke resistance. Although the dependency on local conditions and site were stressed as early as 1883, when the first sequence was established [3], this law has frequently been ignored, overlooked or negated in later years. In smoke-damaged forests, the effects of insufficient suitability of the site for the type of plant overlap with the effects of the degree of resistance, which depends moreover also on the composition of the smoke gas, the duration of exposure, and the time distribution of smoke action, the age, phase of vegetation and individual inherent properties of the trees, and other factors.

But above all, the location determines any fluctuations in the factor of "resistance to smoke." Its influence may be so overwhelming in importance that the inherent differences in sensitivity may be blurred almost completely. Trees exhibit lower resistance to immissions when they are located in unsuitable sites than when they are located in sites

which approach their optimum ecological conditions. On the basis of a multitude of test results and experience gathered, as well as the local study of the most important areas of smoke damage in Western, Central and Northern Europe, I have come to the conclusion that the sensitivity amplitudes which are determined by the soil are in many cases especially wider in deciduous trees than the differences of inherent margins of sensitivity of the species. This can be explained in part by the high local requirements of many deciduous trees with regard to the soil and in part by the fact that deciduous species are sometimes very similar in their inherent resistance to smoke. In contrast, the inherent differences in the resistance of conifers are generally more clearly defined and are, therefore, of more importance vis-a-vis local influences. For example, there are considerable differences in resistance over a wide local amplitude between spruce (Picea abies) or fir (Abies alba) on the one hand, and the two species of black pine (Pinus austriaca and Corsicana), on the other hand. In contrast, the values for smoke resistance differ largely in nuances only between the deciduous tree species, whose importance is commonly thought to be highly overestimated.

The most important resistance fluctuation for transforming a forest exists between the two groups of deciduous species and coniferous species. The reasons are found not only in the different development and life-span of their assimilatory organs but also in their different sensitivity to any loss of these assimilatory organs. If conifers lose their needles, they are usually threatened by death while deciduous trees are able to reproduce their foliage quickly and repeatedly. Severely damaged spruce or pine trees which have largely lost their needles will recover much

more slowly than deciduous trees which have suffered the same degree of damage.

If we disregard the current transformation of oak cultures in the Ruhr district,* no case is known in which major surface areas with deciduous foliage have been replaced by a different deciduous tree species with greater resistance to smoke, for reasons of smoke damage; or where this might have seemed necessary. In practice, the transformation concerns almost exclusively a replacement of our most important economic timber cultures of spruce (mostly in mountain areas) and pine (primarily in the plains) by deciduous species. For moderate smoke damage, a minor number of attempts have been made to replace the damaged tree species by larches and foreign coniferous species, with a varying degree of success.

Thus, the problem of smoke damage is primarily a problem of coniferous species. Our domestic conifers have to be substituted. They are replaced mainly by red oak, oak, maple, beech, poplar, and black alder. These species have proved successful on a great variety of Central European areas with smoke damage, and hardly differ with regard to their inherent smoke resistance if their reaction is compared in locations which are favorable for the specific species of tree planted there. Since they require rather different soil conditions, there is at least one suitable economical tree species available among these species for the greatest variety of local sites. Therefore, a tree species should be selected from them for severe or continuous smoke action in accordance

---

* Undoubtedly, oak is one of the most smoke resistant species but unfortunately, it is severely exposed to the roller moth in the Ruhr area.

with the soil and climate of the prospective site. The same principle applies to suitable secondary species, which will not be discussed in detail at this time.

Figure 2. The last live trees of a 70-year-old pine culture (5th yield class) (upper height 10.5 m; Ø at chest level = 18 cm) in the city forest of Recklinghausen, which has been transformed into a red oak forest. Note the flattening of treetops. As shown by analyses of the trunks, height growth stagnates at 30 years of age; the culture had about 10 m upper height already at the age of 40 (then 3rd yield class).

In conclusion, I would recommend as rule of thumb for the practical combat of smoke damage that your selection should be determined more by the suitable location for a species than by the properties of smoke resistance as known to date, when it is necessary that coniferous species are replaced by deciduous species. However, if the transformation is to be made to other types of conifers, your principal concern should be the resistance of the new species to pollution. Since the cultivation of coniferous trees outside their natural area of distribution is so common anyway, it is justifiable in most locations to replace spruce by

pine, for example, or pine by black pine (which is the accepted most resistant species of all the sufficiently tested coniferous types), as the intensity of damage might require in an area of moderate pollution influence.

Arrangement of Protective Belts (Smoke Barriers)

Particularly exposed to the action of smoke are the so-called "surge contact fronts." Among these are not only the forest fringes as such, but within the forest the edges of cultures which are higher than the cultures lying ahead of them. Among these are also entire slopes or parts of slopes in mountainous areas which are inclined towards the incoming pollution. These forest sections are always affected more strongly by smoke damage than the interior of cultures in a plain or on the back slopes in sub-Alpine mountain regions, because the former protect the latter.

As explained in more detail elsewhere [4], we differentiate between an active and a passive filtering action in this protective function. The former consists of the distribution, mixture and eventual absorption of smoke when entering the filters of tree trunks, branches, shoots and foliage, with the wind movement gradually dying down in the interior of the forest. The latter action consists of the damming and flow processes which force the smoke-laden wind to rise above the environmental unit of the forest so that merely the treetops are surrounded to any great degree by the wind flow. Both functions assure that protected forest sections are exposed only to relatively diluted and, thus, less toxic or completely harmless pollution concentrations such as the forest

sections in the "main leeward location" of the air flow which passes over a factory.

In practice, the combat against smoke damage to the forest has been using this regularity with success for a long time, by erecting "protective barriers" of relatively smoke-resistant tree species (deciduous trees) in front of sensitive cultures (e.g. spruce). It is not always necessary to transform entire stands. Frequently, it is sufficient to limit the measure to the surge contact fronts so that the economic utilization of conifers can be continued in protected locations. However, the protective barriers should not be limited to the minimum area possible in a petty approach to the problem. The measures that need to be taken have to be of sweeping proportions if protection is to be assured over large areas. Therefore, forest planning should give special attention to the planning of protective barriers in regions with smoke damage which are guided by the local and topographical conditions and features. In view of the long-term impact of forest production, far-reaching concepts have to be developed for the future at an early point of time. Recent literature contains a very illustrative example of such planning in perspective [5]. Protective barriers fail to fulfill their purpose, or only are effective for the next tree generation, if established too late. They should be cultivated in time in positions ahead of the forest sections which are to be protected and should not be a stop-gap measure introduced at a time when damage is already eating away at the substance of the forest.

The forest fringes, hilltops and mountain crests are suitable sites for cultivating smoke barriers. The barriers should, if possible, be

designed so as to be transverse to the main direction of smoke and wind impact. Their length and dimensions will depend on the topographical profile and the size of the areas to be protected. Based on the planning in the Ore Mountains [6], it was established that the barriers have to be a minimum of 30 m, and possible 100 m wide in order to be able to provide permanent protection to the forest with its long life-span. These dimensions are quite sufficient in greater distances from dangerous factories but they are not always sufficient in the immediate vicinity of factory works in mountainous areas, as was found by studies [7] on the effects of a 300 m wide beech barrier in front of sensitive spruce stands. In the establishment and rejuvenation of these barriers, it should furthermore be attempted to keep the barrier always at least at the same height as the stands lying behind it. Only then, they will be able to fulfill their protective purpose completely. Felling has to be completed in time in strip-like areas transverse to the impact direction of the smoke, if it is not possible to follow a policy whereby single trees are replaced, as in the rejuvenation of cultures by the rejuvenation of nature through subsequent cultivation of new saplings or the development of the understructure.

The establishment of smoke barriers is especially advisable around single sources of pollution which are located in isolated sites in the forest area or in front of forest structures. The more massive the impact of industry is in any area, the more these smoke barriers lose their importance. Of course, they can fulfill their purpose completely only if the wind, carrying along the smoke, approaches the forest primarily from the direction where the smoke barrier has been established.

But in situations where the openings of smoke stacks or smoke discharge outlets above the roof in close vicinity to the forest are higher than the altitude of forest trees, i.e., wherever the smoke largely sinks down onto the forest from above, any protective barriers will be of little help or use. As the conditions in the Ruhr district have shown us, forests cannot be protected by smoke barriers if pollution and smoke is supplied from all sides and from above. Such forests have to be transformed completely. Smoke barriers, therefore, offer limited protection only under certain circumstances. What we have said above on the types of trees to be selected holds true here.

Reproduced from best available copy.

Figures 3 and 4. Spruce stands in the forestry district Haard near Haltern/W., which have been thinned by the action of smoke. In contrast to pines, the spruce is not capable of removing itself from the layer of air in which the smoke has its greatest impact by flattening its treetop. Red oak is being cultivated in the conversion area.

Preventive Measures of Protecting Forest Stands and Timber Utilization

Because the wind transmits smoke damage, every possible action has to be taken to divert the wind flow in such a way that the fumes, which are being carried along by the wind, come into contact with as few sections of a forest or any individual forest stand, as possible. In this context, felling may be a highly important technical measure because it strongly influences the organization of stands and structure of the forest.

When old timbers are utilized economically by felling in larger areas, paths may be opened to the flow of air which were blocked to the wind previously. Old blocks of deciduous trees should never be removed completely in one step as barriers in front of sensitive stands of coniferous trees, because this might mean that the latter have been doomed to die. This was clearly illustrated by an instructive example of such an erroneous policy [7], which had disastrous consequences. At least one strip of old timber has to be left standing until the new forest culture has grown to such height on the area which had been cleared completely by felling that the new growth can assume the protective function. Again, the planning of economic utilization of the forest has to take air pollution into consideration.

The same principles apply to any thinning of forest stands in areas with smoke damage. Great care has to be taken when felling of any kind is planned that the forestry measures will not facilitate any penetration of smoke into sections of the forest which were hitherto

protected or into the innermost depths of the stands. Therefore, the protective barriers have to be maintained as densely populated as possible, and felling should be limited to dry wood only. It might possibly be suitable to leave dead forest populations standing and to sacrifice their economic value derived from a sale of the timber in order to protect valuable stands of trees lying behind these dead trees, which act as some sort of "breakwater" for heavy smoke concentrations. An exposure of individual trees does not result in a desirable cultivation of new growth in the clearing if it occurs in areas with smoke damage (as it would happen in regions of clean air), but leads to the death of trees by poisoning! The mutual protection of trees is here more necessary than ever in order to maintain the viability of these plants.

Reproduced from best available copy.

Figure 5. A relatively smoke-resistant (red oak, on the left) and a highly sensitive type of tree (spruce, on the right) of the same age, next to each other in an area of smoke damage in the vicinity of the Ruhr river. While the red oak culture grew well and developed into an excellent timber culture, the spruce stand is thinning and has been retarded in its development. Surviving spruces show clear symptoms of smoke damage and major growth inhibition. Spontaneous growth of birch trees in the clearances formed by the death of spruces in the spruce culture.

Reproduced from best available copy.

Figure 6. The areas of immediate contact (see text) are always affected particularly severely by damage caused by pollution.

Figure 7. Barrier against smoke damage, consisting of deciduous trees (here: beech) around a source of pollution. Note the barren areas in the appearance of the forest in the main leeward location of the plant (arrow) created by the effects of smoke.

Because the cultivation of coniferous stands leads to repeated loss of sensitive individual specimens every year in the presence of permanent smoke action and as the age of a culture advances, and because these dead trees have to be removed by felling to avoid the danger of infestation by large numbers of parasites, these forests become

progressively thinned out. Therefore, the primary concern in any felling in these stands is, irrespective of traditional forestry principles, to spare for as long as possible any individuals obviously possessing relative smoke resistance, irrespective of their sociological position in the culture. Rejuvenation of forest cultures should be carried out if possible behind the protective forest barrier. Remaining old timber protects the stand from penetration by smoke from above and from the increased danger by winter and late frosts, which is found in areas with smoke damage. It is advisable to avoid the development of large barren areas. The smoke can enter these areas most easily. These are the areas where various factors resulting in damage can easily combine with smoke to form compound effects.

Improving the Conditions of Growth

Numerous forest sites have growth conditions which need improvement. We can hardly influence the factor of climate. At best, minor microclimatic improvements may be possible in certain sites by varying the structure of a forest population.

Since the resistance of conifers to frost is reduced by pollution, it is important, for example, to foster the discharge of cold air by removing so-called "frost holes." The capacity of the trees in an area with smoke damage and possibly also their resistance to the effects of smoke can be increased in many cases by active improvements. We should mention here primarily an improvement in the supply and distribution of water and of nutrients in the soils.

A favorable influence on the water supply in the ground is primarily feasible in areas where coal, minerals, rock and earth are mined in great volume. As the mining is usually connected with the local establishment of large-size industries for the chemical processing or analysis of these raw materials, these are usually areas of great air pollution at the same time. An extraction by strip mining is usually accompanied by a sinking of the ground water level on neighboring areas, i.e., a loss in moisture. In contrast, mining under ground leads frequently to the development of large amounts of water and swamps in the forest areas as the ground sinks above the mined deposits. Thus, the soil sections which can be penetrated by roots are greatly reduced. While it is almost impossible to counter losses in moisture at economically feasible costs (surface supply of water, sprinkler systems), any wet ground can be combatted by deepening the main drainage channels, pumping the collected water off, and draining the area. Drainage is carried out in the Ruhr area on a large scale, where several hundred square kilometers of land have, as is well-known, sunk to a level below the original level and water level and where, for example, in the forest areas on the Emscher river, the excess of water has become the limiting factor for forest growth, in addition to pollution. Undoubtedly, local conditions can be greatly improved in areas with excess water by keeping ditches permanently open or by the construction of new drainage systems, and the growth capacity of the trees can be improved greatly thereby.

One relatively simple measure of improvement in forest management is the use of fertilizer. It offers an excellent importance from the point of forest hygiene, particularly in areas with continuous pollution

by smoke without the simultaneous accumulation of dust. Even though it has not been possible to substantiate a close correlation between fertilizing and increased resistance to smoke from a scientific point of view, it has been established beyond doubt on the basis of the developmental process of damage and specific individual observations, that a plant located in poor soil can be aided by the supply of Ca, K, Mg in forms that are absorbed easily so that the smoke components that enter the leaves are neutralized to a certain degree, that they are eliminated from plant metabolism, are deposited in specific sections of the leaves and are partially discharged again into the soil via the roots.

The positive influence of a good supply of bases in the soil on plant resistance is demonstrated at times in areas with smoke damage when the basic rock changes suddenly. In Bohemia [8], such obvious differences were found at the transition from phonolite to sandstone. In the industrial region in the Rhine-Westphalian area, the beech has shown itself to be markedly more resistant to smoke on lime degradation soils or loess than, for example, on poor sandy diluvial soils. Extensive tests with fertilizers were conducted in smoke-damaged forest stands in the Czechoslovakian section of the Ore Mountains. In a detailed report on preliminary findings [9], the earlier results [8] were confirmed, according to which the resistance of young plants in light, sandy soils to smoke was markedly improved by fertilizing with powdered basalt and serpentine. The leaves of some deciduous species remained fresh and healthy on fertilized soils while they exhibited necrosis in unfertilized ground. According to our practical experience gathered, fertilizing with lime has proved itself valuable particularly on acidy

and/or soils poor in mineral content, where the fertilizing preferably should be carried out over large areas by means of a blower system, in order to achieve a fine distribution on the ground.

Thus, fertilizing smoke-damaged stands can be regarded as a true palliative measure. At the same time, it is a prophylactic measure to counteract influences on the soil. After all, the ground has to absorb the components of pollution eventually. An influence of SO_2 and HF stack gases increases the H^+-ion concentration in the soil, and therefore acts to acidify the soil in time. Since the activity of the micro-flora suffers on the one hand, directly from soke, and on the other, by the loss of foliage in which increased amounts of sulfur and fluorine have been accumulated, the degradation of the top layer of dust and loose particles is increasingly inhibited in areas with smoke damage. Possibly, the supply of suitable fertilizers may compensate the excess acid, may improve the utilization of nutrients in the loose top layer and may prevent damage to the soil caused by pollution.

It is not necessary to add any bases by fertilizing, and it may even be counterindicated where large amounts of flue dust with alkaline reaction are deposited on the ground, as is the case particularly in the vicinity of cement and lime works. Flue-ashes from the combustion of coal contain bases, too (lignite flue-ash around 40% CaO and 4% MgO, fossil coal flue-ash only about 3% CaO/MgO). On the other hand, there are flue-dusts with an acidy physiological reaction. There is a close interaction between dusts and gases, and their influences on the soil may either balance each other or intensify their effects. This illustrates that there are no generally applicable guidelines for measures

of improvement, designed to foster resistance to smoke and to reduce the loss of plant productiveness due to immissions. These measures have to be adapted to the respective local conditions in each case. Of course, fertilization cannot be expected to do too much. It can only contribute in improving the effects of damage to a limited degree.

Selection of Seeds and Saplings

It has been noted in all familiar areas of smoke damage that individual spruces are less sensitive to the action of pollution than the great mass of trees in a stand. For a certain period of time, these specimen retain a relatively healthy growth even if other spruces around them have developed severe symptoms of damage or necrosis. It was found in the studies of the Ore Mountains [10, 6] that it is particularly the crested spruces which survive the flat spruces, observations which I can confirm from my study of the Ruhr district and Scandinavia. The differences in phenotypical smoke resistance probably have physiological reasons [11]. The fast-growing trees with a great growth capacity are not the most resistant species; due to increased assimilatory intensity and, thus, high intake of harmful substances, they are probably eliminated more easily than trees with moderate growth capacity.

In generalizing the findings of different reactions even within one species, it has been concluded that on principle there are individual differences in resistance in all plants. Understandably, this again gave rise to the concept of selecting seeds or saplings of as high a smoke-resistance as possible and to use only these samples in industrialized areas. As early as 1951, the prevention of smoke damage was

outlined as problem of forestry and forest cultivation [12] and the author of the study, who is known as expert in smoke damage, formulated the misguided but remarkable statement that industry has conducted its fight against harmful effects of smoke with purpose while agriculture and forestry has "done nothing and has lost precious years." Frequently, the erroneous opinion is also expressed that there must be some "smoke-hardened" types or specimen even of sensitive tree species. The actual conditions require clarification here because forestry has been accused by industry on the basis of the above hypothesis that we have cultivated the "wrong" seeds, from which completely unfounded conclusions have been drawn.

First of all, it has to be pointed out that in practice in the field, noticeable differences of individual sensitivity have been established on a large scale only for spruces with any certainty, and conditionally for pines. The importance and limitations of a cultivation of resistance in these tree species become clear if one surveys the more than 100,000 hectares of areas in Europe where smoke damage in spruce and pine have been found. For any assessment, it is necessary here to establish a correlation between the degree of individual resistance, which is recognizable in the individual areas, and varies from zone to zone, and the specific intensity of pollution active in each case. The more smoke resistant spruce do not survive equally well everywhere. In zones of severe smoke action, they survive for a few years only, in zones with moderate pollution they may survive up to about two decades longer than most trees of the same species which have gradually died one after the other. But nowhere do spruces reach the resistance of other hardier

species, such as black pines, thujas or locally suitable deciduous species. On the basis of all the experience gathered in this field, it cannot be expected that the amplitude of smoke resistance specific to spruce individuals is any wider than the inherent distance between the species spruce and pine or larch, not to mention the differences to deciduous trees. After all, the most smoke-resistant spruce is still a spruce.

Reproduced from best available copy.

Figure 8. View from the beech barrier onto the source of immission in Figure 7. Severely damaged beeches which have largely lost their foliage in August already, located at the impact surfaces, indicate the filtering effect in contrast to the beeches at the back of the barrier where there is barely any loss of foliage visible.

Therefore, the expectations placed on the selection and cultivation of conifers with higher degrees of smoke resistance in order to produce seeds that are suitable for industrialized areas must not be higher than

Reproduced from best available copy.

Figure 9. During any thinning of smoke-damaged cultures, individuals of relative phenotypical smoke-hardiness (pine, on the right side of the picture) have to be spared from felling irrespective of their sociological position in the culture if the stand is to be kept alive as long as possible. If better shaped trees are more sensitive to smoke (pine, in center of picture) they have to be felled at first, in disregard of the familiar forestry principles of forest management by thinning.

is warranted by the real situation as it applies to the practical combat of smoke damage and environmental engineering. This action is important only for the cultivation of trees in transition areas from severe to less marked smoke damage. Such areas exist after all in dimensions of some ten thousand hectares, for example, in the Ore Mountains, the border zones of the Ruhr district and around innumerable major sources of pollution in isolated locations. Therefore, it would be of great advantage if we could plant spruces here that would last 20 years longer than the usual seeds. Under these circumstances, it would not be necessary to do without this tree species on large areas, whose productive yield is several times that of other deciduous species and pine.

Probably, individual differences in resistance will also exist in plants other than conifers; and confirmation of this hypothesis is undoubtedly of great scientific interest. According to the structure and extent of influence exerted by pollution in the field effectively on plant life, a cultivation of relatively smoke-resistant types is useful only for sensitive plants which are affected on a large scale and are at the same time difficult to replace for economic or cultural reasons. In a realistic assessment of the situation in Europe, these plants are merely spruce and pine. Since smoke damage in the field is primarily a problem for conifers, any individual differences in resistance to smoke can become of essential practical importance for botany and forestry only for these two tree species.

For the practical field of smoke damage in general, this tool can provide noticeable help only when more smoke-resistant seeds are available in sufficient amounts. Unfortunately, this will not be the case in the foreseeable future due to the great amount of time needed in forest cultivation. During recent years, spruces of relative phenotypical resistance (and in some cases also pines) were selected in the border areas of the industrialized Rhine-Westphalian region. Branches of these trees were grafted onto substrates in the plant cultivation institutes of Hann.-Munden and Munich. A number of saplings obtained in this way are currently stationed in our experimental area in the Ruhr District for testing.

The Economic Dependency of These Measures

The extent of any possible adaptation of forestry to the effects of pollution have to be planned and executed on the basis of a clear

insight into the dynamics and intensity of harmful influences on the forest. When we use the means available to us in a manner which is adapted to the conditions of pollution in each case, we have done everything on the part of forestry which can be done for keeping the environment and plant life healthy and which is possible for a forest economy that takes into account the realities of co-existence with industry.

Reproduced from best available copy.

Figure 10. Forest area in the Ruhr district which is under the influence of pollution and has become swampy as the ground has sunk above the exploited coal deposits. Here, improvements of local conditions can decisively contribute to fostering the growth capacity of the trees.

In conclusion, however, we should point once more to the greatly restricted field of activity open to forestry. The changeover to tree species of relatively low economic value causes permanent losses in productivity and production and requires long periods of time. Considerable additional costs result from measures relating to cultivation, maintenance, protection and felling, as well as from any improvements, costs, which cannot be borne by many forest concerns without endangering their very existence. The implementation of economic action in the forest

always leads to a reduced productive yield, while costs and expenditures are increased at the same time. Both factors have a negative effect on the economic feasibility of the forest.

Reproduced from best available copy.

Figures 11 and 12. Differences in phenotypical resistance to smoke in spruce. Figure 11 (above): after the sudden occurrence of high concentrations of pollutants; Figure 12 (on the right): after decades of the moderate action of pollution from a small factory in its close vicinity (visible on the right of the picture).

The question is, if or to what extent the measures discussed above are reasonable at all for the forest economy without provision of some reimbursement for losses in productivity connected with these measures and for the high expenditures either on the part of the industrialized unit causing this damage or through government subsidies.

BIBLIOGRAPHY

1. Grohmann, Th., "Experience and Opinions on Smoke Damage in Forests and its Combat," Samml. v. Abhandlg. uber Abgase und Rauchschaden (Collections of papers on stack gases and smoke damage), Berlin, 1910.

2. Lincke, M., Die Umwandlung der reinen Nadelholzbestande Nordwestdeutschlands in Mischwald (Transformation of the pure coniferous cultures in northwest Germany into mixed forests), Hannover, 1946.

3. Schroeder, J. v., Reuss, C., Die Beschadigung der Vegetation durch und die Oberharzer Huttenrauchschaden (Damage to plant life caused by smoke and the smoke damage caused by the Oberharzer mining industry), Berlin, 1883.

4. Wentzel, K. F., "Forest and Air Pollution: The Effects of the Forest on Man and Environment," Landwirtschaft angewandte Wissenschaft, 107, 1960, pp. 139-162.

5. Lampadius, F., "Prevention of smoke damage in forests through forest management," Der Forst- und Holzwirt, 15, 1960, pp. 255-259.

6. Zieger, E., "Causes, Recognition and Control of Industrial Smoke Damage in the Forest," Energietechnik, 8, 1958, pp. 487-490.

7. Wentzel, K. F., "Conclusions for the study of smoke damage drawn from the study of the effects of a defect in filtering and absorption installations of a lead works," Wiss. Ztschr. TU Dresden, 11, 1962, No. 3, pp. 581-588.

8. Nemec, A., "Smoke damage in forest cultures in the vicinity of the paper plants of Ceska Kamenice," Sbornik Cescoslovenske akademie zemedelskych ved Rocnik, 3, 1957, pp. 33-58.

9. Materna, J., "Evaluation of fertilization tests in smoke-damaged spruce cultures," Wiss. Ztschr. TU Dresden, 11, 1962, No. 3, pp. 598-593.

10. Materna, J., "Contribution to the question of the effects of industrial pollution in the Ore Mountains," Prace vyzkumnych ustave lesnickych CSR, 11, 1956, pp. 159-172.

11. Pelz, E., "Investigations on the individual resistance of spruce to smoke," Wiss. Ztschr. TU Dresden, 11, 1962, No. 3, pp. 595-600.

12. Kruger, E., "Prevention of smoke damage as problem of plant cultivation," Bergakademie, Freiberger Forschungshefte, 2, 1951, pp. 21-23.

Reproduced from
best available copy.

Photograph (last page of manuscript)

The most smoke-resistant conifer sufficiently tested in the European areas with smoke damage is the black pine. Of numerous exotic species planted in the 19th century in the park of the castle of the Count v. Nesselrode in Herten, in the center of today's Ruhr district, only one black pine (Pinus austriaca) has more or less retained its growth capacity as the only older conifer. The tree, which is growing in isolation, is about 100 years old, 25 m high, has a Ø of 104 cm at chest height and 5 fm of solid timber mass. Its characteristics of smoke damage are clearly identifiable.

All the other old conifers have died in the course of time as a result of pollution or barely have continued to survive, as visible in the photograph on the left side in a Pinus strobus which has retained green needles only on three lateral branches, and in the center of the picture is a diseased and partially dry Tsuga.

(cover picture of the Allgemeine Forstzeitschrift 7 (1963) which was published on 2/16/1963 on the topic of "Recognizing and preventing pollution damage." Photograph by Hentzel.)

Sonderdruck aus „Allgemeine Forstzeitschrift" 18 (1963), S. 101 – 106

ALLGEMEINE FORSTZEITSCHRIFT, 8 München 13, Lothstr. 29. Erscheint wöchentlich. Probeheft gratis.

231047

T.R. 12-73

Waldbauliche Maßnahmen gegen Immissionen

Von Dr. K. F. Wentzel, Bochum

(Aus der Landesanstalt für Bodennutzungsschutz Nordrhein Westfalen)

Möglichkeiten und Grenzen der forstlichen Abwehr von Rauchschäden

Für die forstliche Praxis sind nachfolgend jene waldbaulichen Maßnahmen zur Herabminderung von Immissionsschäden zusammengestellt und kurz kommentiert, die sich im Freiland bewährt haben. Dabei stützt sich der Verfasser auf eine nunmehr achtjährige hauptberufliche Forschungs-, Überwachungs- und Gutachtertätigkeit sowie Kenntnis der in den verschiedensten Rauchschadgebieten Europas gewonnenen Erfahrungen.

Der Forstmann hat aktive Mittel einer Rauchschadenverhütung nicht in der Hand. Da der Wald Objekt der Schädigung ist, kann die Forstwirtschaft die Schadenursache von sich aus nicht abstellen. Das ist allein technischen Vorkehrungen in den Rauchquellen vorbehalten. Nur ein Abscheiden und Unschädlichmachen der toxischen Emissionsbestandteile vor dem Verlassen der Werksanlagen kann Schäden zuverlässig verhindern.

Ist nun der Forstwirt schon außerstande, eine Einflußnahme von Rauchgasen oder Staub auf seinen Wald in sicherer Weise zu unterbinden, so wird seine ohnmächtige Position der Luftverunreinigung gegenüber noch deutlicher, wenn man sich vor Augen hält, daß ihm (mit Ausnahme der Düngung in besonderen Fällen) auch keine therapeutischen Mittel zu Gebote stehen, rauchkranken Wäldern Hilfe zu bringen. Während die Human- und Tiermedizin Gegengifte, Heilstoffe, Palliativ- und Belebungsmittel entwickelt hat, durch deren rechtzeitige Anwendung oder Injektion mancher Krankheit Schrecken gebannt ist, kennen wir kein Mittel zur Heilung rauchvergifteter Pflanzen. Wie auch gegen Pilz- oder Insektenbefall können wir die Vegetation allenfalls vor Immissionen äußerlich abschirmen. Diesen Gegebenheiten entspricht auch der Begriff „Pflanzenschutz". Es kann „Pflanzenärzte" solange nicht geben, wie es auf breiter Basis an Methoden mangelt, „innere Krankheiten" der Vegetation, wie sie z. B. von der Luftverunreinigung bewirkt werden, zu heilen.

Ob solche Hilfsmittel jemals entwickelt werden können, steht dahin. Vorversuche dazu sind bereits angelaufen, und utopisch erscheint der Gedanke nicht. Vorerst aber jedenfalls können wir von der Seite der Angewandten Botanik her gegen Luftverunreinigungen nur eines tun, nämlich in den waldbaulichen oder betriebswirtschaftlichen Maßnahmen uns auf Raucheinwirkungen einstellen. Die forstlicherseits zu ergreifenden Abwehrmaßnahmen haben somit fast ausschließlich prophylaktischen Charakter. Mit ihnen ist letztlich nur das Ziel zu erreichen, großen Zerstörungen des Waldbildes vorzubeugen, um zunächst eine gewisse Ertragsfähigkeit und schließlich eine Bestockung in Industrienähe überhaupt zu erhalten und die kulturellen und hygienischen Segnungen des Waldes für Mensch und Landschaft soweit wie möglich zu bewahren.

Rauchschadenkundlich-naturwissenschaftliche Grundlagen

Wir kennen heute rd. 200 verschiedene Fremdstoffe industriellen Ursprungs in der Luft. Etwa 50 davon treten häufiger auf, aber nur ein Dutzend beschäftigen uns besonders intensiv. Die verbreitetsten und den weitaus größten Umfang der Waldrauchschäden verursachenden Schadstoffe sind die Gase Schwefeldioxyd und Fluorwasserstoff. In der Mehrzahl der Fälle gilt es, sich auf diese einzustellen.

Die uns gegen sie zur Verfügung stehenden waldbaulichen Mittel leiten sich von drei rauchschadenkundlich-naturwissenschaftlichen Erkenntnissen her:

1. Die Baumarten und darüber hinaus auch die einzelnen Baumindividuen einer Art sind verschieden widerstandsfähig gegen schädliche Immissionen. Absolut rauchfeste Bäume oder Pflanzen gibt es nicht.
   Für jedes Gewächs findet sich ein stellenweise auch im Freiland existentes Wirkungsprodukt von Konzentration des Rauchgases mal Zeitdauer der Einwirkung, das es abtötet.
2. Gefährliche Abgasschwaden verdünnen sich um so schneller zu harmlosen Schadstoffverteilungen in der Luft, je mehr Widerstände sie auf ihrem Weg zu durchströmen oder zu umgehen haben.
3. Je günstiger die allgemeinen Wachstumsbedingungen, darunter vor allem die Bodenverhältnisse, für eine Pflanze sind, um so resistenter ist diese gegen die Angriffe toxischer Abgaskonzentrationen.

Die Gültigkeit dieser Grundlagen ist vielfältig gesichert, sowohl experimentell wie empirisch. Ein reichhaltiges Nachweismaterial ruht dabei in dem Erfahrungsschatz jahrzehntelanger forstlicher Arbeiten in chronischen Rauchschadgebieten. Da es versuchstechnisch so gut wie unmöglich ist, Begasungsexperimente auf das ganze natürliche Baumleben auszudehnen, und da wohl einzelne kleine Jungpflanzen, aber nicht hohe und vielfältig zusammengesetzte Wälder im Labor getestet werden können, kommt dem „Naturexperiment" des Aufwachsens langlebiger Pflanzen und Waldgemeinschaften im immissionsbeeinflußten Freiland eine nicht zu übertreffende Aussagekraft zu für Schlüsse, die Forstwirtschaft, Landespflege und Landschaftsgestaltung in luftverunreinigten Räumen zu ziehen haben.

Übergang zu rauchhärterer Bestockung

Die in der Rauchschadenpraxis gebräuchlichste, weil auf weiten Flächen in Industrienähe geradezu unausweichliche Maßnahme waldbaulicher Einstellung auf die unheilvolle Immissionswirkung ist der Bestockungswechsel. Anstelle empfindlicher Bäume können in Gebieten hoher Luftverunreinigung Baumarten oder -sorten angebaut werden, die relativ widerstandsfähig gegen Rauchgase sind. In größerem Rahmen wurden solche Umwandlungen in der Vergangenheit vor allem in den Industriestaaten Mitteleuropas, Deutschland, Tschechoslowakei, Polen und Österreich vorgenommen. Bezeichnenderweise handelt es sich also um jene Länder, in welchen neben einem hohen Industrialisierungsgrad auch eine planvolle Forstwirtschaft mit großem Nadelholzanteil zu finden ist. Beispielhafte ältere, schon im Baum- und Stangenholzalter stehende Umwandlungsflächen weisen Sachsen und das Ruhrgebiet auf. Die Forstämter Lauter (1) und Haard (2) sind hier bahnbrechend vorangegangen. Im Zuge des allgemeinen Neuaufbaues der Forstwirtschaft nach 1945 und der Wiederbestockung zahlreicher im Kriege zerstörter oder vernachlässigter Bestände ist die Umforstung immissionsbelasteter Wälder aber besonders im letzten Jahrzehnt allgemein sehr vorangetrieben worden. Die bekannten Rauchschadgebiete enthalten daher zur Zeit viele Jungbestandsflächen, die ein reichhaltiges Untersuchungs- und Anschauungsmaterial bieten.

Art und Umfang des Waldumbaues müssen örtlich nach dem Einwirkungsgrad der Luftverunreinigung festgelegt werden. Dabei ist nicht nur die gegenwärtige Höhe der Schädigung zu bedenken, sondern — soweit möglich — auch dessen voraussichtliche Entwicklung in der Zukunft, da die Baumartenwahl den Waldbau auf durchschnittlich 80 bis 100 Jahre

Abb. 1: Etwa 40jähr. Kiefernbestand im Forstort Hühnerheide (FA Wesel). Geschlagen wurde lediglich die Rauchtrockenis. Restbäume zeigen schüttere Benadelung. Da der Bestand stark verlichtet und in wenigen Jahren geräumt sein wird, Voranbau von Buche.
Ein Vergleich der Abbildungen 1 und 2 läßt die Entwicklung zum „Rauchhabitus" bei Kiefer zwischen Alter 40 und 70 deutlich werden.

festlegt. Es ist sinnlos, Kulturen mit empfindlichen Baumarten anzulegen, wenn das Gebiet in absehbarer Zeit von massierter Industrialisierung überrollt wird.

Bei einem Raucheinfluß, der das Laubholz nicht merklich schädigt und sich beim Nadelholz lediglich in Zuwachsverlusten und herabgesetzten Umtriebszeiten bemerkbar macht, steht die Erhaltung einer beschränkten Ertragsfähigkeit des Waldes im Vordergrund der Überlegung. Es besteht kein Anlaß, auf Fichten- oder Kiefernbestände bzw. auf eine Nadelholzbeimischung völlig zu verzichten, wenn zu erwarten ist, daß der Rauch einen Grubenholzumtrieb dieser Nadelholzer noch zuläßt. Je stärker der Raucheinfluß, um so mehr kommt es darauf an, rauchhärtere Koniferen (Schwarzkiefern, Thujen, Lärchen) zu verwenden oder schließlich ganz zum Laubholz überzugehen. Schlägt sich die Schädigung aber schon in frühzeitiger Durchlöcherung und Zerstörung des Waldbildes nieder (nur bei anhaltend hoher Einwirkung von Gasimmissionen), so wird die Erhaltung einer Bodendeckung oder Begrünung überhaupt zum maßgebenden Gesichtspunkt bei der Baumartenwahl. Dann kommt nur noch ein Anbau standortangepaßter und möglichst kultursicherer Laubhölzer in Betracht. Die Entstehung von Rauchblößen mit nachfolgender Erosion und Deflation zu Ödland muß verhindert werden.

Nach dem heutigen Stand unseres Wissens ist davor zu warnen, sich bei der Baumartenwahl in Industrienähe vornehmlich von den früher aufgestellten sogenannten „Resistenzreihen" leiten zu lassen. Diese Übung hat in der Praxis mehrfach zu empfindlichen Fehlgriffen geführt. Die alten Resistenzreihen haben die gegenwärtig noch herrschende und meinen Feststellungen nach nur zum Teil richtige Auffassung vermittelt, daß allgemein große Unterschiede in der Rauchresistenz zwischen den Baumarten bestehen und man bei der Wahl nur möglichst weit „nach oben" in die Reihe zu den von Natur her angeblich „rauchfesten" Bäumen greifen müsse, um sicher zu sein, die richtige Wahl getroffen zu haben.

Nun darf aber die Rauchhärte als Eigenschaft einer Baumart nicht isoliert vom Standort gesehen werden. Die Resistenzreihen gelten nur für ganz bestimmte standörtliche Voraussetzungen oder Versuchsbedingungen. Das „eiserne Gesetz des Örtlichen" hat auch hinsichtlich Rauchhärte Bedeutung. Obwohl die Standortabhängigkeit schon 1883 bei der Aufstellung der ersten Reihe (3) betont wurde, ist dieses Gesetz in der Folgezeit oft mißachtet, übersehen oder negiert worden. In rauchbeschädigten Wäldern überschneiden sich die Auswirkungen mangelhafter Standortseignung der Pflanzen mit denen des Resistenzgrades, welcher ja außerdem auch noch von der Beschaffenheit des Rauchgases, der Zeitdauer und Zeitverteilung seiner Einwirkung, dem Lebensalter, der Wuchsphase und individuellen Veranlagung der Bäume und anderen Faktoren abhängig ist.

Vor allem aber variiert der Standort die „Rauchresistenz". Sein Einfluß kann so überragend sein, daß die arteigenen Empfindlichkeitsunterschiede nahezu ganz verwischt werden. Auf nicht zusagendem Standort zeigen die Baumarten geringe Widerstandskraft gegenüber Immissionen als auf Standorten, die ihrem ökologischen Optimum nahekommen. Auf Grund vielfacher Untersuchungsergebnisse und Erfahrungen sowie örtlichen Studiums der wichtigsten west-, mittel- und nordeuropäischen Rauchschadenflächen bin ich zu der Überzeugung gekommen, daß die vom Boden her bedingten Empfindlichkeitsamplituden vor allem bei den Laubhölzern vielfach breiter sind als die Unterschiede der arteigenen Empfindlichkeitsspannen. Das erklärt sich zu einem Teil aus den hohen Standortsansprüchen vieler Laubhölzer und zum anderen aus der Tatsache, daß sie sich in der arteigenen Resistenz gegen Rauchgase z. T. sehr nahestehen. Bei den Nadelhölzern dagegen sind — allgemein gesehen — die arteigenen Resistenzunterschiede stärker ausgeprägt und haben daher mehr Gewicht gegenüber Standorteinflüssen. Beispielsweise bestehen zwischen Fichte (Picea abies) oder Tanne (Abies alba) einerseits und den beiden Schwarzkiefernarten (Pinus austriaca und corsicana) andererseits sehr beachtenswerte Resistenzunterschiede über eine weite Standortsamplitude hin. Dagegen differiert die Rauchresistenz zwischen den Laubholzern großenteils nur in Nuancierungen, welche in der landläufigen Meinung stark überbewertet werden.

Die für die Umwandlung bedeutungsvollste Resistenzspanne tut sich zwischen den Gruppen Laubholz und Nadelholz auf. Dies liegt nicht nur in der verschiedenartigen Ausbildung und Lebensdauer der Assimilationsorgane begründet, sondern auch in der unterschiedlichen Anfälligkeit gegen einen Verlust derselben. Büßen Koniferen ihre Nadeln ein, so sind sie meist dem Tode preisgegeben, während Laubholz in der Lage ist, sein Blattwerk schnell und mehrfach nachzubilden. Schwer beschädigte, weitgehend entnadelte Fichten oder Kiefern erholen sich viel langsamer als gleichermaßen mitgenommene Laubbäume.

Wenn man von den im Ruhrgebiet in Umbau begriffenen Eichenbeständen*) absieht, so ist kein Fall bekannt, wo größere Flächenareale Laubholz aus Rauchschadengründen durch anderes rauchhärteres Laubholz ersetzt worden wären oder wo dies notwendig erschiene. In der Umwandlungspraxis handelt es sich fast ausnahmslos um einen Ersatz unserer wichtigsten Wirtschaftsholzarten Fichte (meist im Bergland) und Kiefer (vorwiegend in den Ebenen) durch Laubhölzer. Geringfügig wird bei mäßigem Raucheinfluß mit unterschiedlichem Erfolg auch auf Lärche und ausländische Koniferen umgestellt.

Das Rauchschadenproblem ist somit in erster Linie ein Koniferenproblem. Unsere einheimischen Nadelhölzer müssen ersetzt werden. An ihre Stelle rücken hauptsächlich Roteiche, Eiche, Ahorn, Buche, Pappel und Schwarzerle. Diese Baumarten haben sich in den verschiedensten mitteleuropäischen Rauchschadenräumen bewährt und differieren hinsichtlich arteigener Rauchhärte kaum, sofern man ihr Verhalten auf den diesen Bäumen jeweils zusagenden Standorten vergleicht. Da sie recht unterschiedliche Ansprüche an den Boden stellen, steht unter ihnen für die verbreitetsten Standortstypen zu-

*) Die Eiche ist zweifellos eine der rauchhärtesten Baumarten, leide im Ruhrgebiet aber zusätzlich schwer unter dem Wicklerfraß.

Abb. 2: Die letzten noch lebenden Bäume eines 70jähr. Kiefernbestandes V. Ekl. (Oberhöhe 10,5 m, Brusthöhen-Ø = 18 cm) im Stadtwald Recklinghausen, auf Roteiche umgewandelt. Man beachte die Kronenabplattung. Wie Stammanalysen auswiesen, stagniert der Höhenzuwachs seit 30 Jahren; etwa 10 m Oberhöhe hatte der Bestand schon im Alter 40 (damals III. Ekl.).

mindest je eine geeignete Wirtschaftsholzart zur Verfügung. Je nach den von Boden und Klima her gegebenen Voraussetzungen sollte daher bei stärkerem oder fortdauerndem Raucheinfluß die Hauptholzart unter ihnen ausgewählt werden. Das gleiche gilt für geeignete Nebenbaumarten, auf die an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden kann.

Zusammenfassend empfehle ich als **Faustregel** für die Rauchschadenpraxis, sich bei einer notwendigen Umstellung auf Laubhölzer von der Standortseignung der Baumarten mehr leiten zu lassen als von den bisher bekannten Rauchhärteeigenschaften. Bei einer Umwandlung auf andere Koniferen sollte dagegen in erster Linie auf die Widerstandskraft gegen Abgase gesehen werden. Der Anbau von Nadelholzern außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes ist ohnehin so allgemein üblich, daß es für die meisten Standorte durchaus berechtigt ist, je nach Schädigungsintensität eines mäßigen Einflusses z. B. von Fichte auf Kiefer oder von dieser auf die Schwarzkiefern (als den anerkannt härtesten der ausreichend erprobten Koniferen) überzugehen.

Abb. 3 und 4: Durch Raucheinwirkung verlichtete Fichtenbestände im FA Haard bei Haltern/W. Im Gegensatz zur Kiefer ist die Fichte nicht in der Lage, sich durch Kronenabflachung aus der Hohenschicht starker Rauchgaszuwehung herauszuhalten. Auf der Umwandlungsflache zieht Roteiche und Ahorn nach.

Anlage von Schutzstreifen (Rauchriegeln)

Dem Zutritt von Rauchgasen besonders exponiert sind die sog. „Prallfronten". Hierzu zählen nicht nur die Waldränder, sondern innerhalb des Waldes auch Bestandesränder, welche die vorliegenden Bestände an Höhenwuchs überragen. Es gehören dazu aber auch ganze Hänge oder Hangteile im Bergland, die den einströmenden Abgasen entgegengeneigt sind. Diese Waldteile sind stets intensiver von Rauchschäden betroffen als das Innere der Bestände in der Ebene oder rückwärtige Hänge im Mittelgebirge, weil sie letztere abschirmen.

Wie an anderer Stelle näher ausgeführt (4), unterscheidet man in der Schutzfunktion eine aktive und eine passive Filterwirkung. Erstere beruht auf Verteilung, Verwirbelung und schließlich Absorption der Rauchgase beim Eintreten in das Filter von Stämmen, Zweigen, Ästen und Blattwerk, wobei die Windbewegung im Innern des Waldes allmählich erstirbt. Letztere geht auf Rückstau- und Strömungsvorgänge zurück, durch welche der rauchbeladene Wind zum Aufsteigen über den Landschaftskörper Wald gezwungen wird, so daß nur noch die Spitzen der Bäume stärker umspült werden. Beide Vorgänge sorgen dafür, daß abgeschirmte Waldteile nur von relativ verdünnten und daher schwächer toxisch wirkenden oder gar unschädlichen Abgaskonzentrationen getroffen werden wie die Waldteile im „Hauptlee" der über die Fabrik ziehenden Luftbewegung.

Die forstliche Rauchschadenpraxis macht sich diese Gesetzmäßigkeit seit langem mit Erfolg zunutze, indem sie „Schutzriegel" aus relativ rauchharten Holzarten (Laubholz) vor empfindliche Bestände (z. B. Fichte) baut. Es ist keineswegs immer notwendig, ganze Bestände umzuwandeln. Häufig genügt es, sich lediglich auf die Prallfronten zu beschränken, so daß in geschützten Lagen durchaus noch mit Nadelhölzern weitergewirtschaftet werden kann. Allerdings sollten die Schutzstreifen nicht zu kleinlich auf minimale Flächen beschränkt werden. Es muß großzügig verfahren werden, wenn großräumig Schutz gewährt werden soll. Die Forsteinrichtung sollte daher in Rauchschadgebieten einer räumlich und topographisch ausgerichteten Schutzstreifenplanung besonderes Augenmerk schenken. Angesichts der Langfristigkeit forstlicher Erzeugung sind dazu frühzeitig weit vorausschauende Überlegungen nötig. Die neuere Literatur enthält ein sehr anschauliches Beispiel solcher Perspektivplanung (5). Schutzstreifen verfehlen ihren Zweck oder wirken erst für die nächste Waldgeneration, wenn sie zu spät angelegt werden. Sie sollten zeitlich vor den zu schützenden Waldteilen in Kultur gebracht werden und nicht hinter einem sich bereits durch den Wald fressenden Schaden herhinken.

Zum Aufbau von Rauchriegeln bieten sich die Waldränder, Kuppen und Hohenrücken an. Hier sollen die Riegel möglichst quer zur Haupteinzugrichtung des Rauches angelegt werden. Ihre Ausdehnung richtet sich nach dem Geländeprofil und der Größe der zu schützenden Flächen. Die Streifen müssen nach Planungen im Erzgebirge (6) mindestens 30, möglichst 100 m Breite haben, um das langlebige Waldobjekt dauerhaft schützen zu können. Solche Abmessungen sind in größeren Entfernungen von gefährlichen Fabriken durchweg ausreichend, nicht immer aber für die direkte Umgebung der Werksanlagen im Bergland, wie Untersuchungen (7) über den Effekt eines 300 m breiten Buchenriegels vor empfindlichen Fichtenbeständen ergaben. Bei der Anlage und Verjüngung ist fernerhin anzustreben, daß die Riegel stets auch mindestens gleiche Höhe haben wie die hinter ihnen liegenden Bestände. Nur dann können sie den Abschirmungszweck voll erfüllen. Nutzungen sind zeitgerecht saumweise der Herkunftsrichtung des Rauches entgegen vorzunehmen, sofern sie nicht einzelstammweise erfolgen können, wie dies bei Bestandeserneuerung durch nachziehende Naturverjüngung oder Unterbau geschieht.

Zweckmäßig ist die Anlage von Rauchriegeln vor allem um Einzelrauchquellen, die isoliert in Waldgebieten oder vor Waldkomplexen liegen. Je massierter die Industrie einen Raum erfaßt hat, um so mehr verlieren sie an Bedeutung. Sie können natürlich nur dann ihre Aufgabe voll erfüllen, wenn der rauchbeladene Wind vornehmlich von der Seite her gegen den Wald getragen wird. In den Situationen aber, wo die Schornsteinmündungen oder Rauchaustrittsoffnungen über Dach in naher Entfernung höher als der Wald liegen, überall dort also, wo sich der Rauch großenteils von oben auf den Wald senkt, können Schutzmäntel nur wenig helfen. Wie die Verhältnisse im Ruhrgebiet lehren, sind Wälder, denen von allen Seiten und auch von oben her Abgase zugeführt werden, durch Rauchriegel nicht abzuschirmen. Sie müssen völlig umgewandelt werden. Rauchmäntel bieten daher nur in bestimmten Fällen einen beschränkten Schutz. Hinsichtlich Holzartenwahl gilt das bereits vorstehend Gesagte.

Vorbeugende Maßnahmen der Bestandespflege und Holznutzung

Da die Windströmung Vermittler der Rauchschäden ist, muß alles getan werden, sie so abzulenken, daß die ihnen aufgeladenen Rauchgase mit möglichst wenig Waldteilen oder einzelnen Beständen in Kontakt kommen. Hierbei sind auch hiebstechnische Maßnahmen bedeutungsvoll, da sie die Bestandesgliederung und Waldstruktur stark beeinflussen.

Bei flächenweiser Nutzung von Althölzern können der Luftströmung Gassen geöffnet werden, die ihr bislang versperrt waren. Niemals sollten alte Laubholzblöcke als Bollwerk vor empfindlichen Nadelholzbeständen in einem Zuge restlos abgeräumt werden, da letzteren hiermit das Todesurteil gesprochen sein kann. Dies zeigte ein lehrreiches Beispiel solcher Fehlhandlung (7) mit katastrophalen Folgen. Zumindest muß ein Altholzstreifen so lange stehen bleiben, bis auf der kahlgehauenen Fläche der neue Waldbestand so hochge-

kommen ist, eine Schutzfunktion übernehmen zu können. Auch die Nutzungsplanung muß daher auf die Luftverunreinigung Rücksicht nehmen.

Gleiches gilt für Durchforstungen im Rauchschadgebiet. Bei allen Hiebsmaßnahmen ist peinlich darauf zu achten, dem Rauch nicht das Eindringen in bisher relativ abgeschirmte Waldteile bzw. in die Tiefe der Bestände zu erleichtern. Deshalb müssen die Schutzstreifen im größtmöglichen Dichtstand bewirtschaftet werden, wobei sich der Aushieb allein auf den Trocknisanfall beschränken sollte. Unter Umständen kann es sogar zweckmäßig sein, abgestorbene Kulissen unter Opferung ihres Holzverkaufswertes zum Schutz von hinter ihnen liegenden wertvollen Beständen als „Wellenbrecher"

Abb. 5: Eine relativ rauchharte (Roteiche links) und eine sehr rauchempfindliche Baumart (Fichte rechts) gleich alt nebeneinander im Rauchschadgebiet unweit der Ruhr. Während der Roteichenbestand gut vorankam und zu einem ausgezeichneten Stangenholz erwuchs, ist der Fichtenbestand verlichtet und zurückgeblieben. Die überlebenden Fichten zeigen unzweifelhafte Rauchschadsymptome und schwere Wuchshemmungen. Anflugbirken auf den Sterbelücken im Fichtenbestand.

Abb. 6: Stets sind die Prallfronten (s. Text) von Immissionsschäden besonders stark betroffen.

Abb. 7: Rauchschaden-Riegel aus Laubholz (hier Buche) um eine Immissionsquelle. Man beachte die durch Raucheinwirkung verursachten Lücken im Waldbild des Hauptlees der Fabrik (Pfeil).

starker Rauchgaskonzentrationen stehen zu lassen. Eine Freistellung von Einzelstämmen bringt im Rauchschadgebiet nicht etwa wünschenswerten Lichtungszuwachs (wie in luftreinen Räumen), sondern den Vergiftungstod! Für eine Erhaltung der Lebensfähigkeit ist hier ein gegenseitiger Schutz der Bäume notwendiger denn je.

Da das Heranwachsen von Nadelholzbeständen bei permanentem Raucheinfluß in fortgeschrittenem Alter Jahr für Jahr einen neuen Ausfall empfindlicher Einzelstämme bewirkt, welche wegen der Insektenvermehrungsgefahr laufend durch Sammelhiebe entnommen werden müssen, verlichten die Waldteile fortschreitend. Bei Aushieben in den Beständen ist daher unter Hintansetzung der bewährten Durchforstungsregeln in erster Linie darauf zu achten, die offensichtlich relativ rauchharten Individuen ohne Rücksicht auf ihre soziologische Stellung im Bestand vom Hieb solange wie möglich zu verschonen. Verjüngungen sollten möglichst unter Schirm vorgenommen werden. Die verbleibenden Altstämme schützen gegen das Eindringen des Rauches von oben sowie die im Rauchschadgebiet vermehrte Gefährlichkeit von Winter- und Spätfrosten. Es ist ratsam, eine Entstehung von großen Kahlflächen zu vermeiden. Zu ihnen hat der Rauch am ungehindertsten Zutritt. Hier kommt es besonders leicht zu Komplexwirkungen zwischen dem Abgaseinfluß und weiteren Schadfaktoren.

Verbesserung der Wachstumsbedingungen

Zahlreiche forstliche Standorte weisen Wachstumsbedingungen auf, die verbesserungsbedürftig sind. Die klimatischen Faktoren vermögen wir kaum zu beeinflussen. Allenfalls sind durch Eingriffe in die Bestockungsgliederung stellenweise geringe mikroklimatische Verbesserungen möglich.

Da die Frostresistenz der Koniferen durch Immissionen herabgemindert wird, ist z. B. eine Förderung des Abfließens von Kaltluft zur Beseitigung von sog. „Frostlöchern" bedeutungsvoll. Die Leistung der Bäume im Rauchschadgebiet und vermutlich auch deren Widerstandskraft gegen Rauchgaseinflüsse kann aber vielfach durch Meliorationseingriffe gesteigert werden. Zu nennen sind vor allem Verbesserungen des Wasserhaushaltes sowie des Nährstoffpotentials der Böden.

Eine günstige Beeinflussung des Wasserhaushaltes der Böden kommt in erster Linie für Räume in Frage, wo in großem Umfang Kohle, Mineralien, Steine und Erden abgebaut werden. Da die Förderung gewöhnlich mit der örtlichen Errichtung großer Industrien zur chemischen Aufschließung oder Weiterverarbeitung der Rohstoffe verbunden ist, sind dies in der Regel zugleich Luftverunreinigungsareale. Eine Gewinnung im Tagebau ist häufig mit Grundwasserspiegelabsenkungen auf benachbarten Flächen, d. h. Verlust an Feuchtigkeit, verbunden. Dagegen führt ein Abbau unter Tage durch nachfolgende Bodensenkungen über den ausgeräumten Flözen oft zur Vernässung und Versumpfung von Waldflächen. Der durchwurzelbare Bodenraum wird dadurch erheblich eingeschränkt. Während Feuchtigkeitsverlusten zu tragbaren Kosten kaum zu begegnen ist (oberflächige Wasserzuleitung, Berieselung), kann der Vernässung durch Vertiefung der Vorfluter, Abpumpen des Wasserstaues und Dränage entgegengearbeitet werden. Letzteres geschieht großräumig im Ruhrgebiet, wo bekanntlich schon mehrere Hundert qkm Land durch Bergsenkungen unter Flur liegen und wo z. B. in den Waldflächen an der Emscher ein Zuviel an Wasser neben dem Rauch der begrenzende Faktor für das Wachstum geworden ist. In Vernässungsgebieten kann durch ständige Offenhaltung der Gräben bzw. Neuanlage von Entwässerungssystemen zweifellos sehr zur Standortsverbesserung und damit Wuchskraft der Bäume beigetragen werden.

Eine für die forstliche Praxis allgemein und relativ einfach anwendbare Meliorationsmaßnahme ist die Düngung. Vornehmlich in Gebieten mit andauernden Abgasimmissionen ohne gleichzeitigen Staubfall muß ihr eine hervorragende waldhygienische Bedeutung zugesprochen werden. Wenn auch enge Beziehungen zwischen Düngung und Stärkung der Rauchresistenz bisher wissenschaftlich noch nicht überzeugend nachgewiesen werden konnten, so besteht auf Grund des Schädigungsvorganges und bestimmter Einzelbeobachtungen doch kein Zweifel daran, daß der Pflanze auf armen Böden mit der Zufuhrung von Ca, K, Mg in leicht aufnehmbarer Form geholfen wird, die ins Blatt dringenden Abgasbestandteile bis zu einem gewissen Grade zu neutralisieren, aus dem Stoffwechsel auszuscheiden, in bestimmten Blatteilen zu deponieren und teilweise sogar über die Wurzel wieder in den Boden abzuführen.

Der günstige Einfluß einer guten Basenversorgung der Böden auf die Resistenz tritt in Rauchschadgebieten zuweilen

dort deutlich hervor, wo das Grundgestein plötzlich wechselt. In Bohmen (8) wurden solche augenfälligen Unterschiede beim Übergang von Phonolit zu Sandstein festgestellt. Im rhein.-westf. Industriegebiet zeigt sich besonders die Buche auf Kalkverwitterungsboden oder Loß merklich widerstandsfähiger gegen Rauchgase als z. B. auf armen Diluvialsanden. Umfangreiche Düngungsversuche rauchbeschädigter Waldbestände sind im tschechoslowakischen Teil des Erzgebirges angelegt worden. In einem eingehenden Bericht über die bisherigen Ergebnisse (9) konnten frühere Angaben (8) bestätigt werden, nach denen die Düngung mit Basalt- und Serpentinmehl die Rauchresistenz von Jungpflanzen auf leichten, sandigen Böden merklich förderte. Die Blätter einiger Laubhölzer blieben auf gedüngten Flächen frisch und gesund, während sie auf den ungedüngten Flächen Nekrosen aufwiesen. Bewährt hat sich nach den Erfahrungen der Praxis auf sauren und oder mineralstoffarmen Böden vor allem auch die Kalkung, welche möglichst großflächenweise mittels Gebläses vorgenommen werden sollte, um eine feine Verteilung über den Boden zu erreichen.

In der Düngung rauchkranker Bestände kann somit ein echtes Palliativmittel gesehen werden. Es ist gleichzeitig eine prophylaktische Maßnahme, Einflüssen auf den Boden entgegenzuwirken. Der Boden muß letzten Endes die Rauchbestandteile aufnehmen. Ein Einfluß der Abgase SO_2 und HF verstärkt seine H-Ionen-Konzentration, wirkt also mit der Zeit versauernd. Da auch die Tätigkeit der Mikroflora einmal durch Abgase direkt, zum anderen durch den Abfall an Blattorganen leidet, die mit Schwefel oder Fluor angereichert sind, stockt der Streuabbau in Abgasschadgebieten vermehrt. Durch Zuführung geeigneter Düngemittel kann mithin ein übermäßiger Säureeinfluß kompensiert, die Nutzbarmachung der in der Streu festgelegten Nährstoffe verbessert und einer Bodenschädigung durch Abgase vorgebeugt werden.

Eine Basenzuführung durch Düngung ist nicht nötig, ja sie kann sogar falsch sein, wo große Mengen alkalisch reagierenden Flugstaubes auf die Böden geschüttet werden, wie dies besonders in der Nähe von Zement- und Kalkwerken der Fall ist. Aber auch die aus der Kohleverbrennung stammende Flugasche enthält Basen (Braunkohlenflugasche um 40 % CaO und 4 % MgO, Steinkohlenflugasche nur rd. 3 % CaO MgO). Andererseits gibt es Flugstaube, die physiologisch sauer reagieren. Zwischen Stäuben und Gasen bestehen enge Wechselwirkungen, die sich im Einfluß auf den Boden gegenseitig aufheben oder verstärken können. Wir sehen daraus, daß allgemein anwendbare Rezepte für Meliorationsmaßnahmen zur Förderung der Rauchhärte und Minderung der Produktionsverluste durch Immissionen nicht gegeben werden können. Ihre Anwendung hat sich nach den jeweils örtlich anzutreffenden Gegebenheiten zu richten. Selbstverständlich können an die Düngung keine übertriebenen Erwartungen geknupft werden. Sie kann immer nur zu einer begrenzten Linderung der Schadwirkung beitragen.

Saat- und Pflanzgutauswahl

In allen bekannten Rauchschadgebieten ist aufgefallen, daß einzelne Fichten unempfindlicher sind gegen Abgasangriffe als die Masse der Bestandesglieder. Über gewisse Zeit hinweg bleiben sie verhältnismäßig wuchskräftig, wenn rundherum schon andere Fichten schwer leiden oder gar absterben. Im Erzgebirge wurde erkannt (10, 6), daß es vor allem die Kammfichten sind, welche die Plattenfichten überleben. Beobachtungen, die ich auch aus dem Ruhrgebiet und Skandinavien bestätigen kann. Die unterschiedliche phänotypische Rauchhärte hat vermutlich physiologische Ursachen (11). Die vorwuchsigen Bäume größter Wuchsleistung sind nicht die härtesten; sie fallen infolge hoher Assimilationsintensität und damit auch hoher Schadstoffaufnahme eher aus als die Bäume mäßiger Wuchsleistung.

Aus den Feststellungen unterschiedlicher Reaktion auch innerhalb einer Art ist verallgemeinernd geschlossen worden, daß grundsätzlich bei allen Pflanzen individuelle Resistenzunterschiede bestunden. Verständlicherweise entsprang hieraus wiederum der Gedanke, möglichst rauchhartes Saat- bzw. Pflanzgut zu selektieren und nur dieses in Industriegebieten zu verwenden. Schon 1951 wurde die Verhütung von Rauchschäden als pflanzenzüchterisches Problem umrissen (12), wobei der als Rauchschadenfachmann bekannte Verfasser die in dieser Form abwegige, aber bemerkenswerte Behauptung aufstellte, die Industrie habe den Kampf gegen schädliche Raucheinwirkung zielbewußt geführt, die Land-Forstwirtschaft aber „nichts getan und viele kostbare Jahre verloren". Vielfach herrscht auch die irrige Auffassung, es müsse selbst bei empfindlichen Bäumen „rauchfeste" Sorten bzw. Individuen geben. Die Gegebenheiten erfordern eine Klarstellung, da dem Waldbesitz in Verfolg dessen von industrieller Seite schon vorgeworfen wurde, „falsches" Saatgut angebaut zu haben, woraus dann völlig unberechtigte Folgerungen abgeleitet wurden.

Zunächst muß festgestellt werden, daß in der großen Freilandpraxis beachtenswerte Differenzen einer individuellen Empfindlichkeit bisher lediglich für die Fichte sicher und für die Kiefer bedingt nachgewiesen sind. Bedeutung und Grenzen einer Resistenzzüchtung dieser Baumarten werden klar, wenn man die mehr als 100 000 ha europäischen Rauchschadenflächen von Fichte und Kiefer überblickt. Dabei ist zu einer Beurteilung notwendig, das auf den einzelnen Flächen erkennbare und zonenweise unterschiedliche Maß individueller Rauchhärte in Beziehung zu bringen zur jeweils vorliegenden Intensität des Abgaseinflusses. Nicht überall halten die rauchhärteren Fichten gleichermaßen gut aus. In den Zonen starken Abgaseinflusses überleben sie nur einige Jahre, bei mäßiger Einwirkung bis zu etwa zwei Jahrzehnten länger als die meisten der nacheinander vorher absterbenden Artgenossen. Nirgends aber erreichen sie die Widerstandskraft anderer härterer Baumarten, wie z. B. die der Schwarzkiefern, Thujen oder standortangepaßten Laubhölzer. Es ist nach allen Erfahrungen nicht anzunehmen, daß die individualspezifische Rauchhärte-Amplitude der Fichte breiter ist als der artspezifisch bedingte Abstand von der Fichte zur Kiefer oder Lärche, geschweige denn zum Laubholz. Auch die rauchhärteste Fichte ist eben eine Fichte.

Von der Selektion und Vermehrung graduell rauchhärterer Koniferen zur Schaffung eines für Industriegebiete geeigneten Saatgutes darf daher nicht mehr erwartet werden, als es der Rauchschadenpraxis und Landschaftsgestaltung nach Lage der Dinge zu geben vermag. Das Vorhaben hat nur Be-

Abb. 8: Blick aus dem Buchenriegel auf die Immissionsquelle der Abb. 7. Schwerbeschädigte und schon im August großenteils entlaubte Buchen an der Prallfront zeigen im Gegensatz zu kaum entlaubten Buchen an der Rückseite des Riegels den Filtereffekt an.

Abb. 9: Bei Durchforstungen in rauchbeschädigten Beständen müssen die phänotypisch relativ rauchharten Individuen (Kiefer rechts im Bild) ohne Rücksicht auf ihre soziologische Stellung im Bestand vom Hieb verschont werden, sofern der Bestand möglichst lange erhalten bleiben soll. Wenn besser geformte Bäume rauchempfindlicher sind (Kiefer Bildmitte), müssen sie in Nichtachtung der bekannten Durchforstungsregeln zuerst geschlagen werden.

deutung für die Bestockung der Übergangsgebiete von stärkerem zu schwächerem Rauchschaden. Solche sind aber immerhin mit einigen zehntausend Hektar z. B. im Erzgebirge, den Randzonen des Ruhrgebietes und um zahllose vereinzelt liegende Großrauchquellen vorhanden. Es wäre daher eine große Hilfe, hier Fichten anbauen zu können, die 20 Jahre länger aushalten als das gewöhnliche Saatgut. Auf weiten Flächen braucht dann auf diese gegenüber Laubholz und Kiefer mehrfach ertragreichere Baumart nicht verzichtet zu werden.

Abb. 11 und 12: Unterschiedliche phänotypische Rauchhärte von Fichte. Oben, nach plötzlichem Auftreten hoher Schadstoffkonzentrationen; rechts: bei jahrzehntelanger mäßiger Abgaseinwirkung einer nahe gelegenen kleinen Fabrik (rechts im Bild).

Nun werden individuelle Resistenzunterschiede vermutlich auch bei anderen Pflanzenarten als Koniferen bestehen, und eine Bestätigung dessen ist wissenschaftlich zweifellos interessant. Nach Gliederung und Maß der in der Landschaft effektiv auftretenden Vegetationsbeeinflussung durch die Luftverunreinigung ist eine Züchtung relativ rauchresistenter Sorten aber nur für empfindliche, in großem Umfang betroffene und zugleich betriebswirtschaftlich oder kulturell schwer entbehrliche Pflanzen sinnvoll. Das sind bei realer Betrachtung in Europa lediglich Fichte und Kiefer. Da die Rauchschäden im Freiland überwiegend ein Koniferenproblem sind, können individuelle Rauchresistenzunterschiede im Pflanzenbau somit auch nur für diese Baumarten wesentliche praktische Bedeutung erreichen.

Für die allgemeine Rauchschadenpraxis kann das Mittel erst dann eine fühlbare Hilfe bringen, wenn rauchhärteres Saatgut ausreichend zur Verfügung steht. Dies wird aber wegen des großen Zeitbedarfs der Forstpflanzenzüchtung in absehbarer Zeit leider noch nicht der Fall sein. In den Randzonen des rhein.-westf. Industriegebietes wurden in den letzten Jahren phänotypisch relativ resistente Fichten (vereinzelt auch Kiefern) herausgesucht. Reiser davon sind bei den Pflanzenzüchtungs-Instituten Hann.-Münden und München auf Unterlagen gepfropft worden. Eine Reihe der auf diese Weise erzielten Jungpflanzen steht zur Bewährung bereits auf unserer Versuchsfläche im Ruhrrevier.

Die betriebswirtschaftliche Abhängigkeit der Maßnahmen

Der Umfang der besprochenen Möglichkeiten waldbaulicher Einstellung auf Immissionswirkungen muß auf Grund eines klaren Einblickes in Dynamik und Intensität der schädlichen Einflußnahme geplant und durchgeführt werden. Wenn die uns zur Verfügung stehenden Mittel in einer den jeweiligen Immissionsverhältnissen angepaßten Weise benutzt werden, so geschieht von waldbaulicher Seite alles, was für die Gesunderhaltung der Landschaft getan werden kann und was einer den Gegebenheiten des Zusammenlebens mit der Industrie Rechnung tragenden Forstwirtschaft möglich ist.

Abschließend bleibt aber nochmals auf den sehr beschränkten Spielraum forstlicher Handlungsfreiheit hinzuweisen. Die Umstellung auf relativ unwirtschaftliche Baumarten bedingt bleibende Produktionsverluste und erfordert lange Zeiträume. Bei Kultur-, Pflege-, Schutz- und Erntemaßnahmen sowie Meliorationen entstehen beträchtliche zusätzliche Kosten, die von vielen Forstbetrieben ohne Existenzgefährdung gar nicht aufgebracht werden können. Die Anwendung waldbaulicher Mittel gegen Raucheinfluß bringt stets eine Verminderung des Ertrages bei gleichzeitiger Erhöhung des Aufwandes mit sich. Beides belastet die Wirtschaftlichkeit negativ.

Es ist die Frage, ob und wieweit die besprochenen Maßnahmen der Waldwirtschaft überhaupt zuzumuten sind, ohne daß ein Ersatz für die mit ihnen verbundenen Produktionsausfälle und hohen Aufwandkosten entweder durch die schädigenden Industriebetriebe oder durch Zuschüsse der öffentlichen Hand geleistet wird.

Abb. 10: Durch Bodensenkungen über den abgebauten Kohleflözen versumpfte und zugleich rauchbeeinflußte Waldfläche im Ruhrgebiet. Hier können Standortverbesserungen entscheidend zur Förderung der Wuchskraft der Bäume beitragen.

Schrifttum

(1) GROHMANN, Th.: Erfahrungen und Anschauungen über Rauchschäden im Walde und deren Bekämpfung; Sammlg. v. Abhandlg. über Abgase und Rauchschäden, Berlin, 1910.

(2) LINCKE, M.: Die Umwandlung der reinen Nadelholzbestände Nordwestdeutschlands in Mischwald; Hannover 1946.

(3) v. SCHROEDER, J., u. REUSS, C.: Die Beschädigung der Vegetation durch Rauch und die Oberharzer Hüttenrauchschäden; Berlin 1883.

(4) WENTZEL, K. F.: Wald und Luftverunreinigung; Landwirtschaft angewandte Wissenschaft, Heft 107: Die Wirkungen des Waldes auf Mensch und Umwelt, 1960, S. 139–162.

(5) LAMPADIUS, F.: Vorbeugung gegen Rauchschäden im Walde durch forstliche Maßnahmen; Der Forst- und Holzwirt 15 (1960), S. 255–259.

(6) ZIEGER, E.: Ursachen, Erkennung und Bekämpfung von Industrie-Rauchschäden im Walde; Energietechnik 8 (1958), S. 487–490.

(7) WENTZEL, K. F.: Rauchschadenkundliche Lehren der Untersuchung von Wirkungen eines Ausfalles von Filter- und Absorptionsanlagen einer Bleihütte; Wiss. Ztschr. T. U. Dresden, 11 (1962) Heft 3, S. 581–588.

(8) NEMEC, A.: Rauchschaden an den Waldkulturen in der Umgebung der Papierfabriken von Ceska Kamenice; Sbornik Ceskoslovenské akademie zemedelskych ved Ročnik 3 (1957), S. 33–58

(9) MATERNA, J.: Auswertung von Düngungsversuchen in rauchbeschädigten Fichtenbeständen; Wiss. Ztschr. T. U. Dresden, 11 (1962) Heft 3, S. 589–593.

(10) MATERNA, J.: Beitrag zur Frage der Wirkung der Industrieabgase im Erzgebirge; Práce vyzkumnych ustave lesnickych ČSR 11 (1956), S. 159–172.

(11) PELZ, E.: Untersuchungen über die individuelle Rauchhärte von Fichten; Wiss. Ztschr. T. U. Dresden, 11 (1962), Heft 3, S. 595–600.

(12) KRÜGER, E.: Die Verhütung von Rauchschäden als pflanzenzüchterisches Problem; Bergakademie, Freiberger Forschungshefte 1951, Heft 2, S. 21–23.

Die rauchhärteste der in den europäischen Immissionsgebieten ausreichend erprobten Koniferen ist die Schwarzkiefer. Von ***umfangreichen*** *Exoten-Anbauten des 19. Jahrhunderts im Schloßpark des Grafen v. Nesselrode zu Herten im Zentrum des* ***heutigen*** *Ruhrgebietes hat als einzige ältere Konifere eine Schwarzkiefer (Pinus austriaca) ihre Wuchskraft bis heute leidlich* ***erhalten****. Der solitär erwachsene Baum ist etwa 100 Jahre alt, 25 m hoch, hat 104 cm BHD und 8 fm Derbholzmasse. Sein* ***Raucheinwirkungshabitus*** *ist unverkennbar.*

Alle *anderen älteren Nadelhölzer sind den Immissionen mit der Zeit zum Opfer gefallen oder vegetieren kümmerlich dahin* ***wie*** *links im Bild eine nur noch an drei Seitenästen grüne Strobe und in der Bildmitte eine rauchkranke und teilweise ab-****gestorbene*** *Tsuga.*

(Titelbild der zum Thema „Erkennen und Verhüten von Immissionsschäden" am 16. 2. 1963 erschienenen ALLGEMEINEN FORSTZEITSCHRIFT Nr. 7, 1963. — Foto: Wentzel)